Stanford University Library
NOV
16
1904

Ueber

die Viskosität und die magnetische Doppelbrechung des colloidalen Eisenoxydhydrates.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

hohen naturwissenschaftlich-mathematischen Fakultät

der

Ruprecht-Karls-Universität zu Heidelberg

vorgelegt von

Arthur Du Pré Denning

aus Rugeley, Staffordshire, England.

Heidelberg.

Universitäts-Buchdruckerei von J. Hörning.

1904.

Die folgenden Untersuchungen behandeln die Viskosität, den Atommagnetismus und die magnetische Doppelbrechung einiger colloidaler Eisenoxydhydratlösungen von verschiedener Konzentration. Sie beziehen sich auf ähnliche Lösungen, wie sie bei seinen Untersuchungen Herr Geh. Rat Quincke[1]) schon verwandt hatte. Das colloidale Eisenoxydhydrat mit 5 % Fe_2O_3 oder 3,5 % Fe war aus der chemischen Fabrik von Merck als Ferrum oxydatum dialysatum liquidum bezogen und enthielt stets eine geringe Menge Eisenchlorid.

1) G. Quincke, Ann. d. Phys. 9, p. 969, 1902 etc.

Ueber den Reibungskoëfficienten des colloidalen Eisenoxydhydrates.

Die Messungen der Reibungskoëffizienten wurden für die verschiedenen Lösungen sowohl nach der von Grotrian[1]) beschriebenen Methode der schwingenden Scheibe als auch nach der des Ausflusses durch Kapillarröhren angestellt.

I. Schwingungsmethode.

Der für diese Methode gebrauchte Apparat besteht aus einem langen dünnen Messingdraht, welcher oben befestigt ist und am unteren Ende die schwingende Scheibe, einen dirigierenden Magnetstab und einen der Drehaxe parallelen Spiegel trägt.

Infolge der Torsionselastizität des Aufhängedrahtes und der Direktionskraft der horizontalen Komponente des Erdmagnetismus stellt sich das ganze System in eine gewisse Ruhelage.

Durch augenblickliche Annäherung eines anderen Magneten kann man die Scheibe um ihre Ruhelage schwingen lassen.

Um die von den Widerstandskräften der Luft- oder Flüssigkeitsreibung herrührende Dämpfung der Schwingungen zu messen, beobachtet man das reflektierte Bild einer etwa drei Meter entfernten Skala in einem auf den Spiegel gerichteten Fernrohr mit Fadenkreuz.

Die Schwingungsweite sollte dann in einem konstanten Verhältnis, dem Dämpfungsverhältnis k, abnehmen, wo log. $k = \lambda$, dem logarithmischen Dekrement ist.

---

1) Grotrian, Pogg. Ann. 157, p. 243, 1876.

In der skizzierten Zeichnung (Fig. 1) ist:

P die schwingende Glasscheibe.
B_1 das die betreffende Flüssigkeit enthaltende Bad.
Dk ein Glasdeckel.
B_2 ein B_1 auf konstanter Temperatur erhaltendes Wasserbad.
s der Spiegel, von dem die Skala Sk in das Fernrohr reflektiert wird.
m der dirigierende Magnet.
D der Messingtorsionsdraht.

Durch eine kleine Gasflamme unterhalb des Bades B_2 konnte man die Temperatur in B_1 während einer Beobachtungsreihe genügend konstant erhalten.

In dem äusseren Bad muss man gut umrühren; in dem Flüssigkeitsbad genügt das Umrühren durch das Schwingen der Scheibe, wenn die Temperatur schon ziemlich konstant ist.

Auf dem Glasdeckel Dk stand ein hölzernes Gehäuse mit einem vor dem Spiegel angebrachten Glasfenster, um den Apparat vor Luftströmungen zu schützen.

Um zu vermeiden, dass Luftbläschen an der Glasscheibe hängen bleiben, wurde die Scheibe immer schief in die Flüssigkeit hineingesetzt, und wenn sie ausser Gebrauch war, in Wasser gelegt.

Zur Bestimmung des Reibungskoëffizienten η wurde die von König[1]) verbesserte Meyer'sche[2]) Formel und gelegentlich die von Garrett[3]) verbesserte Meyer'sche Formel angewandt.

Die von König verbesserte Formel lautet:

$$\lambda - \lambda_0 = \pi A \sqrt{\eta\sigma}\left(1 + 2B\sqrt{\frac{\eta}{\sigma}} - A\sqrt{\eta\sigma}\right) \ldots \text{Formel I}$$

wo

$$A = \frac{R^4 + 2R^3\delta}{4k}\sqrt{2\pi T_0};\quad 2B = \frac{2}{R}\sqrt{\frac{2T_0}{\pi}}$$

1) W. König, Ann. d. Phys. u. Chem., Bd. XXXII, p. 215.
2) O. E. Meyer, Pogg. Ann. 113, p. 85. 1861.
3) H. Garrett, Ueber die Viskosität etc. einiger Colloid-Lösungen, Heidelberg, 1903, p. 14.

$\lambda - \lambda_0$ das logarithmische Dekrement des Systems vermindert um das logarithmische Dekrement in Luft.
R der Radius der Scheibe von der Dicke δ.
k das Trägheitsmoment des Systems für die vertikale Axe.
T_0 die Schwingungsdauer in Luft.
η der Reibungskoëffizient der Flüssigkeit.
σ ihr spezifisches Gewicht.

Zur Bestimmung von k wurde zuerst die Schwingungsdauer T_0 beobachtet, das Trägheitsmoment um eine bekannte beträchtliche Grösse k, bei Belastung der Scheibe mit einem Ring von bekannten Dimensionen vermehrt, ohne die drehenden Kräfte zu ändern, und dann die Schwingungsdauer T_1 wieder beobachtet.

Dann ist das gesuchte Trägheitsmoment nach Gauss:

$$k = k_1 \frac{T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} = m \frac{R_1^2 + r_1^2}{2} \cdot \frac{T_0^2}{T_1^2 - T_0^2},$$

wenn wir den äusseren und inneren Radius des Ringes R_1 und r_1, seine Masse m nennen.

Für die Dimensionen des angewandten Apparates fand ich folgende Werte:

Tabelle I.

	Grosse Glasscheibe	Kleine Glasscheibe
2 R	11,799 cm	5 880 cm
δ	0.635 cm	0.635 cm
$2 R_1$	11,9996 cm	6 0020 cm
$2 r_1$	9,9842 cm	3,9931 cm
m	155,431 gr	75,4083 gr
k_1	4734.3 gr cm²	489,85 gr cm²
k	5474 gr cm²	713,40 gr cm²
T_0	24,884 Sek.	11,138 Sek.
T_1	37.998 Sek.	14,465 Sek.
A	1,2947	0,2634
2 B	1,3493	0,9058

Die von Garrett verbesserte Meyer'sche Formel hat die Form:

$$\left[\frac{\Lambda}{\pi}\right]^2 = A^2\eta\sigma + B^2\frac{\eta}{\sigma} + \frac{3}{2}A^2B^2\eta^2 \ldots \text{Formel II},$$

wo $\frac{A}{\pi}$ die Meyer'sche Reihe:

$$\left[\frac{\lambda-\lambda_0}{\pi}+\left(\frac{\lambda-\lambda_0}{\pi}\right)^2+\frac{5}{4}\left(\frac{\lambda-\lambda_0}{\pi}\right)^3+\frac{9}{4}\left(\frac{\lambda-\lambda_0}{\pi}\right)^4+\ldots\right]$$

bezeichnet.

In der Regel findet man, dass die Werte für η, nach den beiden Formeln berechnet, nicht sehr bedeutend verschieden sind, wenn sie einer Viskosität entsprechen, die nicht grösser als 0,02 C.G.S. ist.

Doch insofern als die Abweichungen der Viskosität ganz deutlich und direkt aus den logarithmischen Dekrementen zu ersehen sind, wird man nur wenige Werte in absolutem Masse ausgerechnet finden.

II. Kapillarausflussmethode.

Ausser der Methode mit der schwingenden Scheibe habe ich gleichzeitig die Hagen-Poisseuille'sche Durchflussmethode gebraucht.

Durch das vertikale Kapillarrohr eines Ostwald'schen Apparates (Fig. 2) von der Länge l und dem Halbmesser r floss unter einem Drucke, dessen Druckhöhe h ist, in der Zeit z ein Flüssigkeitsvolumen v vom spezifischen Gewichte σ aus.

Dann ist nach dem Poisseuille'schen Gesetz

$$\eta = \frac{\pi}{8}\,\frac{h\sigma r^4 z}{lv}.$$

Ist z' die Zeit in Sekunden für Wasser, σ' sein spezifisches Gewicht, so verhalten sich die Reibungskoëfficienten

$$\eta : \eta' = \sigma z : \sigma' z'$$

oder

$$\eta = \eta' \frac{\sigma z}{\sigma' z'} \quad \ldots \text{Formel III.}$$

Um η bei verschiedenen Temperaturen messen zu können, wurde der ganze Apparat in ein grosses mit

Wasser gefülltes Becherglas gebracht, das durch eine Gasflamme erwärmt werden konnte.

Das Ergebnis vieler, mit den beiden Methoden gemachter Experimente zeigte eine mit der Zeit schritthaltende Zunahme der Klebrigkeit der Lösung, besonders wenn sie dem Einflusse (I) häufigen Erhitzens und Abkühlens und (II) wiederholter Dialyse ausgesetzt wurde. Die auffallendsten Resultate wurden stets mit der schwingenden Scheibe erhalten.

Doch zeigten auch die Resultate mit dem Ausflussverfahren eine ganz bedeutende Zunahme der Viskositätskoëfficienten, wie ein Blick auf die wenigen zu diesem Zwecke ausgewählten Transpirationsbeobachtungen lehrt, welche ich in Tabelle II angegeben habe.

Tabelle II.

Einige Resultate mit dem Ausflussverfahren.

Flüssigkeit	t° C.	σ	Ausflusszeit Sekunden	η C.G.S.	$\lambda - \lambda_0$ ber.
Mit Wasser . . .	19,6	0,9983	23,2	0,01053	0,1827
Mit der $Fe(OH)_3$-Lösg:					
als zuerst erhalten .	20,0	1,0512	30,5	0,01427	0,2064
4 Tage lang dialysiert	18,3	1,0438	51,4	0,02389	0,2787
3 mal bis etwa 55° C. erhitzt . . .	17,8	1,0458	53,25	0,02485	0,2844
noch 3 Tage lang dialysiert	17,5	1,0450	73,25	0,03415	0,3232
2 mal bis etwa 57° C. erhitzt . . .	20,6	1,0434	81,42	0,03791	0,3406
3 mal bis etwa 50° C. erhitzt . . .	16,7	1,0456	103,0	0,04802	0,3833
6 Monate lang gestanden	14,8	1,0462	182,0	0,08495	0,5096
2 Stunden lang bei —20° C. erhalten . (Starker Niederschlag)	15,9	1,0209	64,17	0,02923	0,2990

In der ersten Kolumne finden sich einige Bemerkungen, um eine Einsicht in die von der Flüssigkeit erlittene Behandlung zu geben. In der letzten mit $\lambda - \lambda_0$ überschriebenen Kolumne sind die aus der Meyer'schen Formel berechneten Werte der logarithmischen Dekremente

in Brigg'schen Logarithmen angeführt, um den Vergleich dieser Beobachtungen mit denjenigen der schwingenden Scheibe zu vereinfachen. Das logarithmische Dekrement in Luft, λ_0, war gleich 0,0022.

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass der Wert für η nach sechs Monaten ungefähr sechs mal so gross war und der für das logarithmische Dekrement beinahe zwei und ein halb mal so gross als zu Anfang.

Da ich immer eine Zunahme der Viskosität durch wiederholtes Erhitzen und Wiederabkühlen bekommen hatte, hielt ich es für zweckmässig, zu probieren, was für einen Einfluss ein starkes Abkühlen haben würde, und deshalb stellte ich die Colloidlösung anderthalb Stunden lang in eine Kältemischung von Kochsalz und Eis bei —20° C. Dabei schied sich eine grosse Menge festen Eisenoxydhydrates aus, doch nicht in der Form der gewöhnlich erhaltenen Eisenoxydhydratgallerte, sondern in kleinen krystallähnlichen Teilchen, welche, in einer Flasche geschüttelt, ein knirschendes Geräusch gaben, als ob es Sand sei.

Bei einer Bestimmung des Eisengehaltes fand ich, dass mehr als die Hälfte des Eisenoxydhydrates sich ausgeschieden hatte; als ich aber die Viskosität η der abgegossenen Lösung mit den beiden Verfahren untersuchte, erhielt ich grössere Werte von η als für die Flüssigkeit, bevor ich sie erhitzt oder dialysiert hatte.

Die allmähliche Zunahme der Resultate, nachdem die Lösung wiederholtem Dialysieren und Erhitzen unterworfen wurde, ist durch die Kurven in Kurventafel I klar und übersichtlich ausgedrückt. Hier sind die für das logarithmische Dekrement berechneten Werte als Ordinate und die zugehörigen Temperaturen als Abscisse eingetragen.

Dass die Viskosität mit steigender Temperatur abnimmt, und um so mehr abnimmt, je grösser die Viskosität ist, zeigen die Kurven auf Tafel II, in welcher die Viskosität η als Ordinate und die zugehörige Temperatur als Abscisse aufgetragen sind.

Einfluss des Dialysierens der Lösung.

In Tabelle III sind einige Resultate zusammengestellt, um die mit der Zeit stattfindende Zunahme des logarithmischen Dekrementes nach der Scheibenmethode zu zeigen und gleichzeitig einen Begriff der beschleunigenden und vergrössernden Wirkung des Dialysierens auf das logarithmische Dekrement anzugeben.

Tabelle III.

Zeitliche Aenderung und Einfluss des Dialysierens.
Mit der grösseren Glasscheibe.

Tage	Zeit nach Eintauchen in Minuten	t^0 C.	λ
0	21	20,1	0,2018
0	41	20,1	0,2023
0	975	20,3	0,2162
Nach einer 4 Tage langen Dialyse.			
18	5	23,4	0,2760
19	1400	23,0	0,3166
19	1430	23,0	0,3195
Scheibe gereinigt.			
19	1475	23,1	0,2922
19	1518	23,0	0,3016
Nach zweiter 3 Tage langer Dialyse.			
31	20	21,8	0,5162
31	80	21,8	0,6265
33	2880	19,2	0,9753
Scheibe gereinigt.			
33	2890	19,2	0,4773
Nach 6 Monaten	10	16,7	1,2767

Vergleicht man diese für die zweimal dialysierte Lösung erhaltenen Werte von λ mit denen der nur einmal dialysierten, so zeigt sich offenbar, dass das für eine bestimmte Schwingungsweite gemessene Dekrement mit der Zeit bedeutend zugenommen hat.

Den Verlauf dieser Erscheinung sieht man am besten an Kurven mit der Zeit nach Eintauchen der Scheibe in die Flüssigkeit als Abscisse und dem logarithmischen Dekremente als Ordinate (Kurventafel III).

Auch daraus ist sofort zu ersehen, dass eine sehr grosse Abnahme der Dekrementenwerte auftritt, wenn man die Scheibe wegnimmt, mit Wasser gut abspült und wieder einsetzt.

Da es sich bei diesen Viskositätsversuchen wesentlich darum handelte, zu entscheiden, was für eine Rolle, wenn überhaupt eine, das lange Stehen der Scheibe in der colloidalen Flüssigkeit spielt, und um ein ungefähres Urteil über die Grösse der dadurch bewirkten Umwandlung zu gewinnen, habe ich von Zeit zu Zeit die Scheibe aus der Flüssigkeit genommen, abgewaschen und wieder eingesetzt.

Mit der klebrigen, zweimal dialysierten Lösung verursachte das Abwaschen der Scheibe stets eine starke Verminderung des Dekrementes, z. B. habe ich in einem Falle eine ausserordentliche Abnahme von 63 % dadurch konstatieren können.

Die nach der Abspülung erhaltenen Werte für λ waren gewöhnlich ein wenig grösser als die ursprünglichen Anfangswerte. Auch waren sie immer grösser als die bei der Transpirationsmethode gemessenen.

Es kann aber nicht verschwiegen werden, dass im allgemeinen, trotz sorgfältig gemachter Beobachtungen, die Bestimmungen keine regelmässig ab- und zunehmende und mit einander übereinstimmende Resultate in diesen wie auch in den folgenden Reihen gegeben haben. Ich werde auf diese Unregelmässigkeiten unten näher eingehen.

Einfluss der Steigerung der Temperatur etc.

Die Eisenoxydhydratlösungen habe ich mehrmals bis auf ungefähr 60° C. erhitzt und wieder abkühlen lassen und während derselben Operationen habe ich das logarithmische Dekrement bei verschiedenen Temperaturen gemessen.

Die vergrössernde Wirkung des wiederholten Erwärmens und Abkühlens auf das logarithmische Dekrement der einmal dialysierten Lösung ist aus Tabelle IV und von Kurven I und II der Kurventafel IV zu bemerken.

Am sechsten Tage nach einer viertägigen Dialyse war das Dekrement gleich 0,3725 bei 20,5° C. gegen 0,2760 bei 23° C. direkt nach Dialyse, d. h. eine zeitliche Zunahme von etwa 35% und gegen 0,2787 bei 18,3° C. nach der Transpirationsmethode, d. h. der Unterschied zwischen den Resultaten mit den beiden Methoden beträgt etwa 36%. Bei 62,5° C. war λ gleich 0,2444 und hat sich folglich um ein Drittel vermindert.

Zu allen diesen bei höheren Temperaturen gefundenen Messungen habe ich zu bemerken, dass die Zahlen nicht dieselbe Sicherheit wie bei den in niederen Temperaturen erhaltenen Resultaten beanspruchen können: einmal, weil eine kleine Aenderung der Temperatur Wirbelströme in der Flüssigkeit erzeugt, und dann, weil das auf der kalten Deckplatte Dk sich niederschlagende Wasser die Konzentration, Dichtigkeit und Gleichförmigkeit verändern und stören kann.

Die Wiederholung dieser Versuche am nächsten Tage, ohne dass die Scheibe in der Zwischenzeit aus der Flüssigkeit herausgenommen wurde, ergab sehr interessante Resultate, die aus der vierten Spalte derselben Tabelle zu ersehen sind.

Das logarithmische Dekrement hat sich inzwischen bedeutend verändert, wie man daraus ersieht, dass es jetzt einen Wert von 0,6571 bei 18,2° C. hat gegen den früheren von 0,2760, oder es ist also 2,38 mal so gross. Am folgenden Tage war es 0,7289 bei 16,3° C. oder 2,6 mal so gross.

Ganz anders verhält sich dagegen ein Teil derselben Flüssigkeit, wenn er gleichzeitig mit der Ausflussmethode untersucht wurde, indem der Reibungskoëfficient nahezu derselbe geblieben war und sich nicht merklich geändert hatte.

Tabelle IV.

Wirkung des wiederholten Erwärmens und Abkühlens auf die einmal dialysierte Lösung von colloidalem Eisenoxydhydrat.

6 Tage nach 4tägiger Dialyse		7 Tage nach 4tägiger Dialyse		9 Tage nach 4tägiger Dialyse		10 Tage nach 4tägiger Dialyse	
t° C.	λ	t° C.	λ	t° C.	λ	t° C.	λ
20.5	0,3725	18,2	0.6571	16,3	0,7289	17,9	0,6500
30.0	0.3731	29.0	0,5147	Scheibe gereinigt		30,0	0.6405
36,5	0,3126	38,9	0,3997	16,8	0,3566	44,0	0,5357
40,0	0,2966	47,4	0,3937	54,0	0,2775	51.4	0,5318
45,0	0,2744	55,0	0,3566	nach 20 Minuten		Scheibe gereinigt	
62,5	0,2444			53,0	0,3326	5,36	0,2401

Durch das Waschen der Scheibe bei 16,3° C. vermindert sich das logarithmische Dekrement um etwa 51 %. Als ich für 20 Minuten und dann nach vorgenommener Messung für noch 15 Minuten eine Temperatur von etwa 54° C. erhielt, bekam ich jedesmal eine Zunahme.

Noch einmal wurde die Lösung bis etwa 50° C. erhitzt, aber dies Mal viel schneller als vorher, und merkwürdigerweise war die mit der Temperatur stattfindende Aenderungsgeschwindigkeit des Dekrementes viel kleiner. Sehr interessant zeigte sich z. B. der bei 54,4° C. beobachtete Wert, da er mehr als zweimal so gross war, wie irgend ein bisher bei dieser Temperatur erhaltener Wert.

Spätere Versuche haben auch das Ergebnis bestätigt, dass eine schnelle Steigerung der Temperatur die kleinsten Abnahmen der anfänglichen, bei niedrigeren Temperaturen gefundenen Werte gab.

Dadurch, dass man die Temperatur während eines Zeitraumes von 20 Minuten wieder auf der Höhe von 54° C. erhielt, wurde eine ähnliche zu der Zeit proportionale Zunahme im Dekrement beobachtet.

Ferner wurde durch Wegnahme, Abwaschen und Wiedereinsetzen der Glasscheibe bei dieser Temperatur eine sehr grosse Abnahme von mehr als 60 % konstatiert.

Tabelle V.

Wirkung des wiederholten Erwärmens und Abkühlens sowie der Einfluss der Amplitudengrösse auf die zweimal dialysierte Lösung.

10 Tage nach zweiter Dialyse				16 Tage nach zweiter Dialyse			
t° C.	Doppel-Amplituden Maxim.	Min.	λ	t° C.	Doppel-Amplituden Maxim.	Min.	λ
	Sk	Sk			Sk	Sk	
19,3	438,0	70,0	0,8064	19,8	471,9	11,0	1,6324
	397,4	63,5	0,7964		337,1	11,5	1,4670
	4 Tage später				255,8	15,2	1,3260
18,8	500,0	56.2	0,9493		24 Stunden später		
	355,0	43,7	0,9097	18,5	294,5	8,0	1,5659
	302,5	39,4	0,8852		298,9	7,2	1,6182
	617,5	63,0	0,9914		377,3	7,4	1,7074
32,8	680,0	133,5	0,7070		496,5	7,2	1,8386
	621,0	130,8	0,6765	32,5	269,9	42,0	0,8071
	246,0	57,1	0,6343		499,5	43,8	1,0570
40,2	338,2	95,0	0,5515	52,0	430,8	84,9	0,7054
	669,2	164,2	0,6102		84,9	2,81	0,4802
51,0	579,3	184,0	0,4981	53,0	526,1	105,1	0,6995
	283,2	106,2	0,4260		376,1	85,2	0,6449

Zur weiteren Prüfung dieses Vorganges und der experimentellen Bestätigung der eben erwähnten Resultate führte ich noch bei verschiedenen Temperaturen Versuche mit der zweimal dialysierten Lösung aus.

Von den Resultaten derselben gebe ich zwei Beobachtungsreihen in Tabelle V.

Die in der zweiten Reihe enthaltenen Werte für λ wurden erhalten, nachdem die Lösung sechsmal seit ihrer zweiten Dialyse erhitzt wurde, aber nur zweimal, ohne dass die Scheibe aus der Flüssigkeit genommen war.

Der grösste gefundene Wert des logarithmischen Dekrementes war 1,8386 oder mehr als neunmal so gross als der zuerst erhaltene Wert und fünfmal so gross als der gleichzeitig mit dem Durchflussverfahren gefundene.

Wie das wiederholte Erwärmen und Abkühlen das logarithmische Dekrement vergrösserte, ist aus der gra-

phischen Darstellung in Kurventafel IV sehr ersichtlich. Die Kurven I und II sind für die einmal dialysierte Lösung und die Kurven III, IV und V für die zweimal dialysierte. Die als beinahe gerade Linien angegebenen Kurven repräsentieren die aus den Transpirationsbeobachtungen mit Formel I berechneten Werte für das logarithmische Dekrement.

Einfluss der Amplitudengrösse.

Man bekommt aber eine klarere Einsicht in die Ursachen der ebengenannten Unregelmässigkeiten, wenn man Rücksicht auf den bedeutenden Einfluss der Grösse der Amplitude auf das logarithmische Dekrement der klebrigeren Lösungen nimmt.

Diesen Vorgang habe ich bei verschiedenen Temperaturen näher untersucht und hierzu in Tabellen V, VI und VII eine Zusammenstellung einiger beobachteter Ablenkungen und der zugehörigen Dekremente gegeben.

Die Schwankungen der Dekremente bei einer bestimmten Temperatur fand ich um so grösser, je grösser die Schwingungen der schwingenden Scheibe waren, in Uebereinstimmung mit den früheren Resultaten von Garrett, bei welchen ebenfalls für Kieselsäure- und Eiweisslösungen das Dekrement mit der Amplitude zunahm, während eine Lösung von Gelatine ein ganz entgegengesetztes Verhalten zeigte.

Bei einer Beobachtung fand ich $\lambda = 1{,}3889$ für eine Doppelamplitude von 502,0 Sk und $\lambda = 0{,}6020$ für eine Doppelamplitude von 42,0 Sk.

Die Wirkung der Amplitudengrösse auf das logarithmische Dekrement ersieht man aus den Kurven in Tafel V, bei welchen die in Skalenteilen angegebenen Amplituden als Abscissen und die Werte für λ als Ordinaten eingetragen sind.

Dies habe ich für einige Beobachtungen an verschiedenen Tagen mit der zweimal dialysierten Lösung in Kurventafel V ausgedrückt. Aus der Inklination der Kurven ergibt sich, dass, je klebriger die Flüssigkeit, nach der

Scheibenmethode gemessen ist, d. h. je grösser die logarithmischen Dekremente sind, desto steiler laufen die Kurven oder desto bedeutender ist die Wirkung der Amplitudengrösse.

Betrachtet man die Zusammenstellungen in Tabelle V näher, so fällt sofort auf, dass eine erhebliche Zunahme des Dekrementes stattgefunden hat und der Einfluss der Amplitudengrösse sehr bedeutend ist. Aber es lässt sich leider nicht mit hinreichender Sicherheit feststellen, in wieweit die Abweichungen der Dekremente in den Bereich der Amplitudengrösse fallen, auch nicht, in wiefern der Einfluss der Temperaturänderung mit den oben mitgeteilten Ergebnissen zusammenhängt.

Es ist jedoch gerade wegen dieser grossen Veränderlichkeit der Werte von λ, die so sehr von der jeweiligen Amplitudengrösse abhängen, dass ich vorgezogen habe, mich darauf zu beschränken, mit Hilfe der Transpirationsviskositätskoëfficienten die logarithmischen Dekremente nach der früher gegebenen Meyer'schen Formel I zu berechnen und diese mit den beobachteten zu vergleichen.

Veränderung der Einstellungspunkte an der Fernrohrskala.

An der klebriger und klebriger werdenden Flüssigkeit war eine auffallende und sehr interessante Tatsache zu beobachten.

Nachdem ich eine Menge Beobachtungen gemacht hatte, bemerkte ich, dass die Stelle des Einstellungspunktes des Fadenkreuzes auf der Fernrohrskala am Ende bedeutend von der anfänglichen Lage abwich.

Und zwar, wenn ich die schwingende Scheibe in Bewegung brachte, dadurch, dass ich fortwährend den Nordpol eines Magnetstabes nach dem Nordpol der dirigierenden Magnetnadel m (Fig. 1) richtete und dadurch verursachte, dass die anfängliche Vibration in einer östlichen Richtung stattfand, war die Veränderung der Ruhelage ebenfalls eine östliche.

Wenn ich den Nordpol der Magnetnadel mit dem Südpol des Magnetstabs anzog, war gerade das Gegenteil der Fall.

Und ferner wurde die Magnetnadel mit der Scheibe in der Colloidlösung durch den festen Magnetstab längere Zeit abgelenkt, so ging nach Entfernung des Magnetstabs die Magnetnadel langsam in eine Ruhelage zurück, welche von der vor der Ablenkung bestehenden Ruhelage um so mehr verschieden ist, je länger die Magnetnadel abgelenkt war.

Tabelle VI.

Aenderung der Ruhelage der grossen Glasscheibe.

Magnetpol	Dauer seiner Wirkung	Doppel-Amplituden Maxim.	Min.	λ	Ruhelageänderung in Sk
		Sk	Sk		
Süd	$2^1/_2$ Minuten	220,4	24,4	0,9558	—263
	Kurz	275,0	33,0	0,9208	— 93,7
		15 Minuten lang unberührt			
	Kurz	196,0	34,0	0,9212	— 47,0
	Kurz	38,0	36,6	0,4659	— 87,0
Nord	„	273,0	41,0	0,9047	+ 99,0
	„	379,0	41,0	0,9658	+184,0
	22 Stunden	281,1	23,2	1,0834	+436,5
Süd	Kurz	247,2	26,2	0,9748	+341,0
	5 Minuten	129,9	14,0	0,9404	+ 46,0
Nord	Kurz	365,1	28,0	1,1152	+184,0
Süd	„	445,0	27,0	1,2170	+ 23,5

Eine nähere Einsicht in das Verhalten der Ruhelage unter den ebengenannten Umständen ist von den in Tabelle VI zusammengestellten Resultaten gegeben. Die letzte Spalte enthält die in Skalenteilen gefundenen Aenderungen der Ruhelage.

Liess ich den Nordpol die Nacht über (22 Stunden) ganz dicht an der Magnetnadel, so bekam ich am nächsten Tage eine Ruhelageverschiebung von 252,5 — auch war, nach dem Werte für λ zu schliessen, die Flüssigkeit augenscheinlich viel klebriger geworden.

Dreiviertel Stunden nachdem ich den Magnetstab fortgenommen hatte, hatte sich die Ruhelage um 20,5 Skalenteile in der Richtung ihrer anfänglichen Lage verschoben.

Mit der kleineren Glasscheibe.

Diese bisherigen Resultate wurden vollständig durch die Ergebnisse übertroffen, zu welchen ich gelangte, als die kleinere Scheibe zwei Tage nach den letzten Beobachtungen in die Colloidlösung gelegt wurde.

In Tabelle VII gebe ich ein paar der am Tage des Eintauchens der Scheibe enthaltenen Resultate, welche eine zeitliche Zunahme des logarithmischen Dekrementes, eine der Amplitude proportionale Aenderung derselben und eine durch Annähern irgend eines Magnetpoles verursachte Schwankung der Ruhelage der Glasscheibe zeigte.

Nachdem aber die Flüssigkeit eine Nacht über stehen geblieben war, mit dem Nordpol des Magnetstabs ganz nahe dem der Magnetnadel der schwingenden Scheibe, war der Einstellungspunkt des Fadenkreuzes vollständig von der Skala verschwunden.

Tabelle VII.

Mit der kleineren Glasscheibe. 9 Tage nach der zweiten Dialyse.

t° C.	Zu grosse Schwingungen	Doppel-Amplituden Maxim.	Min.	λ'
19,5		83,1	29,6	0,4575
		137,5	43,0	0,5048
30 Minuten später		229,0	53,0	0,6355
	1	299,0	59,0	0,7048
32,0		308,0	78,5	0,5937
	2	268,0	71,0	0,5768
42,0	2	297,5	31,0	0,4768
	1	560,5	124,5	0,6535

Nachdem die Flüssigkeit eine Nacht über stehen geblieben war, konnte man die notwendigen drei Umkehrpunkte nicht mehr messen.

Brachte ich den Südpol etwa zwei Sekunden lang an den Apparat, so war die Ruhelage beinahe in der Mitte der Skala und blieb während der nächsten Stunde fast unverändert. Näherte ich den Nordpol für einige Sekunden dem anderen Magneten, so wurde die Veränderung der Ruhelage gleich 658,5 Skalenteilen.

In der Tat, so klebrig war die Flüssigkeit geworden, dass es nicht mehr möglich war, die für die Berechnung des logarithmischen Dekrementes notwendigen drei Umkehrpunkte zu messen, da die Scheibe entweder an dem zweiten Punkte selbst, oder höchstens an einer nur einen Skalenteil davon entfernten Stelle zur Ruhe kam. Daher können wir nur vermuten, dass die Werte für λ' wahrscheinlich zwischen 2 und 3 lagen.

Einfluss des Schüttelns und des Drehens der Glasscheibe durch grosse Bogen.

Nachdem die Scheibe einige Tage in den zäheren Lösungen gestanden hatte, waren die Beobachtungen gegen zufällige Erschütterungen und solche Störungsquellen empfindlich.

Es zeigte sich aus Tabelle VIII, dass das wiederholte Drehen der Scheibe durch grosse Bogen eine sehr bedeutende Verminderung der Viskosität der klebrigen Flüssigkeit hervorbrachte. Doch nach 24 Stunden waren ebenso grosse Werte für λ zu beobachten.

Tabelle VIII.

t° C.	Doppel-Amplituden Maxim.	Min.	λ
16,9	156,2	10,9	1,1563
	261,9	14,0	1,2720
	436,3	18,1	1,3821
Scheibe zweimal durch 180° und 360° gedreht.			
	105,8	17,0	0,7941
	130,0	26,0	0,6989
	175,0	64,0	0,8705

Auch probierte ich eine Impfungswirkung zu bekommen, wie Garrett mit Gelatine gemacht hatte. Als Impfsubstanz fügte ich zwei Teilchen einer erstarrten Eisenoxydhydratgallerte der Flüssigkeit zu.

Aber es ist mir nicht gelungen, einen bestimmten Einfluss derselben zu konstatieren.

Wirkung einer starken Abkühlung der Lösung.

Wie ich schon bei den Transpirationsbeobachtungen erwähnt habe, stellte ich eine klebrige Lösung eine Stunde lang in ein Bad von Eis und Kochsalz bei —20° C. Die Untersuchung der von dem ausgeschiedenen Niederschlag abgegossenen Flüssigkeit ergab Werte für das logarithmische Dekrement, welche zweimal so gross waren als ich für eine von doppeltem Eisenoxydhydratgehalt, aber von mir nicht einmal erhitzte oder dialysierte Lösung bekam (vergl. Tabellen IX und X).

Diese klare Lösung und die ausgeschiedene Gallerte erhitzte ich zwei Stunden lang in einem auf etwa 70° C. erhaltenen Wasserbad. Da ich keine merkliche Aenderung der Dekremente beobachten konnte, ist zu schliessen, dass keine Auflösung der Gallerte stattgefunden hatte.

Tabelle IX.

Wirkung einer starken Abkühlung der Lösung.

t° C.	Doppel-Amplituden Maxim.	Min.	λ
16,0	295,6	1,09	1,4333
	516,7	1,50	1,5371
	181,9	1,02	1,2512
Lösung auf —20° C. eine Stunde lang erhalten — starker Niederschlag.			
	350,9	139,8	0,3994
	753,9	295,4	0,4169

Indem ich solch grosse Veränderungen der Klebrigkeit dieser Colloidlösungen unter den bisher beschriebenen Umständen habe konstatieren können, ist es interessant,

die bisherigen Resultate mit denen von einer Eisenoxydhydratlösung zu vergleichen, die sieben Monate lang unberührt gestanden hatte und welche von mir kein einziges mal erhitzt oder dialysiert worden war.

Der aus Tabelle X zu ersehende Unterschied der beiden Resultate ist aber im Verhältnis zu den vorhergehenden nur sehr klein und nur etwas grösser mit der Schwingungsmethode.

Tabelle X.

Zeitliche Aenderung einer 7 Monate lang unberührt gestandenen Lösung.

Datum	Schwingungsmethode		Transpirationsmethode		
	t^0 C.	$\lambda - \lambda_0$	t^0 C.	η	$\lambda - \lambda_0$ ber.
Juni 26. 1903	21,5	0,1853	18,8	0,01265	0,1962
Januar 28. 1904	19,4	0,2279	14,8	0,01342	0,2025

Um die Uebersicht meiner Resultate zu erleichtern, gebe ich in einer Uebersichtstabelle (umstehend) einige der wesentlichsten in Betracht kommenden Werte von λ.

Diese Zusammenstellung kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit machen, doch sind die wichtigsten, die grösste Rolle spielenden Resultate ziemlich alle darin vertreten.

Die erste Kolumne enthält die Nummer der Tage, an welchen die Flüssigkeit schon untersucht wurde. Unter t befinden sich die Temperaturen, bei denen das logarithmische Dekrement bestimmt wurde. In der dritten Kolumne sind für die wenig klebrigen Lösungen die Mittelwerte mehrerer, den angegebenen Dekrementen entsprechender Amplituden angeführt und für die klebriger gewordene Lösung die maximale Amplitude. Unter $\lambda - \lambda_0$ ist die beobachtete Differenz der Dekremente (in Briggschen Logarithmen) für die Flüssigkeit und die Luft enthalten. Die drei folgenden Kolumnen enthalten die gleichzeitigen, durch Ausflussverfahren bei t^0 C. bestimmten Koëfficienten und die mit der Meyer'schen Formel be-

Tabelle XI.

Eine Uebersichtstabelle einiger der wesentlichsten Resultate mit der grösseren Scheibe.

Tage	Schwingende Scheibe			Ausflussapparat			Bemerkungen
	t^0 C.	Mittlere Amplitude 2a	$\lambda-\lambda_0$ (beob.)	t^0 C.	η	$\lambda-\lambda_0$ (ber.)	
0	20,1	247,4	0,2095	19,6	0,01440	0,2078	
18	23.4	208,2	0,2716	18,3	0,02389	0,2787	4 Tage dialysiert.
20	22,4	223,3	0,3031				
21	22.3	282,5	0,3253	16,4	0,02565	0,2894	
24	20,5	232,4	0,5685				Bis 60° C. erhitzt.
25	18.2	178,1	0,6549	21,0	0,02298	0,2734	Bis 55° C. erhitzt.
27	16,3	153,8	0,7267				
							Scheibe gereinigt.
27	16,8	306,5	0,3544	16,2	0,02606	0,2914	Bis 54° C. erhitzt.
28	17,9	200,7	0,6478	17.8	0,02485	0,2844	Bis 55° C. erhitzt.
28	55,0	245,0	0,5767	45,4	0,01330	0,2076	
							Scheibe gereinigt.
28	53,6	356,2 Max.Amplit.	0,2379				
31	21,8	453,0	0,5135	17,4	0,03040	0,3050	3 Tage wieder dialysiert.
33	19,2	462,0	0,9731	17,5	0,03415	0,3232	
							Scheibe gereinigt.
33	19,3	442,1	0.4751	25.3	0,02845	0.2950	Bis 60° C. erhitzt.
34	19,7	384,1	0,7427	19,5	0,03552	0,3297	Bis 55° C. erhitzt.
35	20,4	375.6	0.7958	20,6	0,03791	0,3406	Bis 45° C. erhitzt.
38	21.0	414,5	1.0176				
39	20,2	397,9	1,1352				
							Grössere Scheibe wieder eingetaucht.
41	19,3	438,0	0,8042	20,0	0,04530	0,3722	
45	18,8	500.0	0,9471	18,6	0,04700	0,3791	Bis 51° C. erhitzt.
46	16.8	508,0	1,4137	16,7	0,04802	0,3833	Bis 49° C. erhitzt.
47	19.8	471,9	1,6302				
48	18,5	496,5	1,8364				

rechneten Werte für $\lambda-\lambda_0$. In der letzten Spalte der Tabelle sind einige kurze Bemerkungen hinzugefügt, um die erforderliche Einsicht in die Behandlung der Flüssigkeit zu geben. Diese Bemerkungen (ausgenommen die zwei über das Dialysieren) betreffen den Prozess, welchem die Flüssigkeit nach den in derselben Horizontalreihe angegebenen Beobachtungen unterworfen war.

Trug ich diese nach den beiden Methoden gewonnenen Werte für $\lambda-\lambda_0$ auf einer Kurve (Tafel VI) auf, so zeigte

sich gleich der grosse Unterschied zwischen den beiden Dekrementreihen als auch die grosse Unregelmässigkeit der Schwingungsresultate. Auch die Werte für die Transpirationsmethode liegen fast auf einer geraden Linie.

Berechnete ich die absoluten Werte für η nach den Meyer'schen, Garrett'schen und Transpirationsformeln, so bekam ich für die ersten Beobachtungen $\eta = 0{,}0146$; 0,0148 bezw. 0,0144. Nach den zweiten Beobachtungen nahmen diese drei Werte sehr ungleichmässig zu. Die Transpirationswerte waren stets bedeutend kleiner als die der anderen zwei Formeln, während von diesen die Koëfficienten nach Formel II am grössten waren.

Der Vergleich dieser Resultate mit der Theorie.

Abgesehen von ihren Verschiedenheiten unter einander, zeigen diese Zahlen für colloidales Eisenoxydhydrat wegen des grossen Einflusses der durch die Zeit verursachten Aenderungen der Amplitudengrösse und wegen der Abhängigkeit von der Vorgeschichte der Lösung erhebliche Abweichungen von den für homogene oder nichtcolloidale Flüssigkeiten gefundenen Resultaten.

Auch stimmen die jetzigen, mit den klebrigen Lösungen gewonnenen Werte von η gar nicht mit einander überein, wenn sie nach den drei Formeln berechnet sind.

Dagegen hat W. König[1]) schon gesagt, dass die Gesamtheit der Ergebnisse seiner Untersuchungen die Behauptung rechtfertigen dürfte, dass bei der Bestimmung von Reibungskoëfficienten zwischen den Resultaten der Ausflussmethode und denjenigen der Schwingungsmethode kein wesentlicher Unterschied besteht.

Aber die von mir ermittelten Differenzen sind doch zu gross, als dass man sie nur als fehlerhaft betrachten könnte.

Aehnliche, aber nicht so leicht bemerkbare Unterschiede hat Garrett in seinen Untersuchungen mit colloidalen Lösungen gefunden.

1) W. König, Habilitationsschrift, Leipzig 1887, p. 23.

Hier darf ich vielleicht erwähnen, dass König in seinen Untersuchungen gefunden hat, dass die Differenzen für eine kleine Scheibe etwas grösser waren als für eine grössere und ausserdem mit den Reibungskoëfficienten wachsen.[1])

Bei dem grossen Einfluss, den die innere Reibung der colloidalen Lösungen in meinen Versuchen auf das Dekrement gewöhnlich hat, muss es durchaus zweifelhaft erscheinen, ob die in obigen Formeln angewandte Form zur Berücksichtigung dieses Einflusses ausreichend ist.

Die bisher angegebenen Formeln bedürfen also offenbar für solche Colloidlösungen einer Ergänzung, deren Grösse unter Umständen nicht unbedeutend sein dürfte.

Garrett hat schon versucht, die Unterschiede seiner Resultate nach den beiden Experimentalmethoden auf die weggelassenen Glieder der Meyer'schen Formel zurückzuführen. Aber nach seinen eigenen Versuchen und auch noch deutlicher nach den meinigen ist es sehr ersichtlich, dass, je grösser das logarithmische Dekrement ist, desto grösser ist der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden, wenn seine Formel gebraucht wird. Und zwar wenn auch die Werte von $\frac{\lambda - \lambda_0}{\pi}$ die Grenze 1 überschreiten, dann ist es nicht mehr möglich, endliche Werte für η zu bekommen.

Man sollte gewiss Rücksicht nehmen betreffs der Wirkung der Amplitudengrösse auf das Dekrement. Denn, wenn die Hypothese richtig ist, dass die Abnahme der Amplituden einer schwingenden Scheibe durch periodische Vibrationen durch die elastische Nachwirkung des suspendierenden Drahtes bedingt ist, so muss es klar sein, dass diese Vibrationen einen um so grösseren Einfluss haben müssen, je mehr die Schwingungen durch irgend andere Ursachen gedämpft sind, und dass bei gleicher Anfangsamplitude die Nachwirkung derselben bei der folgenden Amplitude sich um so fühlbarer machen muss, je kleiner

1) Vergl. König, Ann. der Phys. und Chem., p. 622, 1885.

diese letztere ist. Es muss daher, wenn eine stärkere Dämpfung vorhanden ist und die Schwingungsweite in keinem konstanten Verhältnis abnimmt, das logarithmische Dekrement in der Regel der ursprünglichen ersten Amplitude proportional oder wenigstens von derselben abhängig sein.

Vielleicht spielen dabei andere Vernachlässigungen wesentlicher Korrektionsglieder und selbst gewisse Ungenauigkeiten in der Theorie eine wichtigere Rolle.

Aber welcher Art nun auch die hinzugefügten Korrektionsglieder sein mögen, damit wir eine annähernde Vorstellung zu gewinnen suchen, so scheint es mir, dass man die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung dadurch vergrössern könnte, jedoch nicht in dem Masse, dass man dies als eine hinreichende Bestätigung der Richtigkeit der Korrektion und der ihr zu Grunde liegenden und die in Wirklichkeit bei Colloiden auftretenden Verschiedenheiten erklärende notwendige Hypothese ansehen könnte. Da alles auf die Vorgeschichte der Lösung ankommt und vielmehr von der inneren Beschaffenheit derselben abhängt, deren Einfluss auf die resultierende Viskosität der Flüssigkeit nicht übersehen werden kann, so können die beobachteten Resultate nicht immer vollständig in Uebereinstimmung mit einer Formel gebracht werden.

Denn wir ersehen, dass, wenn die Flüssigkeit gar nicht geändert, sondern nur einfach die Scheibe weggenommen, mit heissem Wasser abgewaschen und wieder eingesetzt wird, es möglich ist, dass das Dekrement eine anomale Abnahme im Werte erleidet, und dass auch, wenn die Flüssigkeit bis zu 50—60° C. erhitzt und wieder abgekühlt wird, sich dann in der Bestimmung des Dekrements eine bedeutend grössere Zunahme zeigt.

Als ein Grund für diese merkwürdigen Tatsachen könnte man vielleicht den Einfluss der Kondensation von Luftbläschen auf den Scheibenflächen annehmen.

Nach häufigem Reinigen der Scheibe und öfteren Erhitzungen der Lösung etc. sollte jedoch alle absorbierte

Luft ausgetrieben sein, und diese Kondensation von Luftbläschen hätte sich auch gleichmässig in anderen Flüssigkeiten, z. B. Wasser, bemerkbar machen müssen. Dies war jedoch nicht der Fall.

Einen wertvolleren Beitrag zur Erklärung dieser grossen Differenzen der mit den beiden Methoden gewonnenen Resultate liefern die von Professor Quincke[1]) ausgesprochenen Ansichten über Colloide.

Nach Quincke sind die wässerigen Lösungen der Colloide scheinbare oder falsche Lösungen (Pseudolösungen), ähnlich der Milch oder den Emulsionen der Wasserkügelchen, die in Oel oder Luft schweben. Oder anders ausgedrückt: die sogenannten Colloide bilden mit Wasser zwei Lösungen, eine wasserarme, klebrige, schwere, colloidreiche Lösung A und eine wasserreiche, weniger klebrige, leichtere, colloidarme Lösung B, die beide gleichzeitig nebeneinander bestehen und an ihrer gemeinsamen Grenzfläche eine Oberflächenspannung zeigen, wie an der Grenze von Oel und Wasser. Die schwebenden Teilchen der ölartigen Flüssigkeit A haben grösseres spezifisches Gewicht und grössere Viskosität als die der letzteren wässerigen Lösung B, sind aber oft kleiner als eine halbe Lichtwelle und unsichtbar.

Je kleiner diese schwebenden Teilchen sind, um so grösser wird im Verhältnis zur Masse die Oberfläche derselben und um so grösser der Widerstand, den sie beim Emporsteigen oder Sinken in der umgebenden schwereren oder leichteren Flüssigkeit erfahren.

Je kleiner folglich die Oberflächenspannung an der Grenze der beiden Lösungen ist, je weniger die beiden Lösungen in ihren physikalischen Eigenschaften verschieden sind und je kleiner diese in der wasserarmen Lösung schwebenden Teilchen sind, um so mehr wird die colloidale Lösung einer gewöhnlichen, wahren, homogenen Lösung ähnlich sein.

---

1) Vergl. z. B. Ann. d. Phys. 9, 969—1045, 1902.

Aus der ölartigen Flüssigkeit werden sich mit der Zeit Kugeln, Blasen, Schaum-Flocken oder -Zellen entwickeln. Auch können mehrere schwebende Teilchen sich zu einem grösseren vereinigen, indem mehrere Kugeln zu einer grösseren Kugel zusammenfliessen, oder mehrere Blasenwände zusammenfliessen und aneinanderhängende Blasen- oder Schaumflocken oder Schaum bilden.

Deshalb gehen diese Lösungen A durch Flockenbildung in Schaum mit flüssigen oder festen Schaumwänden und dann in flüssige oder steife Gallerte über.

Setzt man eine Scheibe in eine solche Pseudolösung ein, so können sich die zu grösseren Schaumflocken vereinigten Teilchen colloidreicher Flüssigkeit an der Oberfläche der Scheibe ausscheiden.

Gibt man der schwingenden Scheibe eine geringe Hin- und Herbewegung, so zieht sie die unsichtbaren anhängenden Schaumzellen durch die Flüssigkeit mit und verursacht, dass sie in Berührung mit anderen Partikelchen der ölartigen, wasserarmen Colloidlösung A kommen, mit denen zusammenfliessen und mit der Zeit sich immer mehr anhäufende Schaumwände oder eine zusammenhängende Schaummasse bilden. Nun wird die Oberfläche der ölartigen colloidreichen Flüssigkeit dadurch grösser und infolgedessen auch die hemmende Wirkung der Oberflächenspannung grösser. So erklärt sich die langsame zeitliche Zunahme der Viskosität einer Colloidlösung.

Ist die Scheibe mit Schaumzellen überladen und kommen irgend welche grosse zufällige Erschütterungen oder eine grosse Schwingung der Scheibe vor, so können eine Menge dieser anhaftenden Flockenbildungen ausgezogen und von der Scheibe losgerissen werden und nicht mehr hemmend wirken.

Diese Bemerkung enthält auch eine Erklärung des Unterschiedes zwischen den Werten des logarithmischen Dekrements, die vor und nach dem Abwaschen erhalten worden sind. Das Reinigen nimmt die ganze Masse der anhängenden Schaumzellen weg.

Wenn wir diese Hypothese annehmen, werden wir sofort sehen, dass die Dämpfung einer in Schwingung gesetzten Scheibe in einer solchen Pseudolösung von mehreren Faktoren abhängt. Diese sind a) die innere Reibung der wässerigen, colloidarmen Lösung B; b) die innere Reibung der ölartigen, colloidreichen Lösung A; c) die äussere Reibung der klebrigen Schaumwände gegen die colloidarme Flüssigkeit und schliesslich d) die Oberflächenspannung an der Grenze der beiden Lösungen.

Es ist gerade dieser letzte Faktor der Dämpfung, der besonders von der Vorgeschichte der Lösung und den Bedingungen des Versuches abhängt und als nicht berechenbar betrachtet werden muss. —

Die Oberflächenspannung und Grösse der gemeinsamen Oberfläche von wasserarmer und wasserreicher Colloidlösung ändern sich mit der Zeit.

Dass das Dekrement bei grossen Amplituden grösser war als bei kleinen Amplituden, steht auch in Uebereinstimmung mit den vorstehenden theoretischen Betrachtungen. Wenn die Scheibe in Bewegung gesetzt ist, werden die an der Scheibe anhaftenden colloidreichen Kugeln, Fäden etc. umgeformt und ausgedehnt. Ausser der Torsionskraft des Aufhängedrahtes wirkt auf die Scheibe auch die elastische Nachwirkung gegen Gestaltänderung dieser colloidalen Kugeln und Fäden. Und je grösser die erlittene Deformation derselben ist, um so grösser wird die entwickelte widerstehende Elastizitätskraft sein, welche die Scheibe zur früheren Ruhelage zurückzukehren verursacht.

Man kann auch die Vermutung annehmen, welche Garrett[1]) als eine Erklärung der ähnlichen von ihm über colloidale Kieselsäure- und Eiweisslösungen mitgeteilten Resultate gegeben hat. Bei diesen Flüssigkeiten sollten die Schaumwände dick sein und die Oberflächenspannung beim Anziehen der Schaumwände konstant bleiben; aber die Oberfläche der Schaumwände wird bei grösseren Am-

1) Garrett, loc. cit. p. 67, Phil. Mag. 1903, p. 377.

plituden vermehrt und infolgedessen auch die scheinbare innere Reibung.

Die dicken Schaumwände aus wasserarmer Eisenoxydhydratlösung vergrössern also bei grossen Amplituden ihre Oberfläche, während die Oberflächenspannung dieser Grenzfläche von wasserarmer und wasserreicher Eisenoxydlösung konstant bleibt.

Wurden die colloidalen Lösungen oftmals erhitzt und abgekühlt, so zeigte sich jedesmal nachher eine Zunahme des logarithmischen Dekrements. Oder wir dürfen vermuten, dass das Erhitzen eine Zunahme der Oberfläche und der Oberflächenspannung der Schaumzellen verursachte und infolgedessen der Viskositätskoëfficient nach dem Erhitzen grösser schien.

Wurde eine Colloidlösung schnell bis auf eine ziemlich hohe Temperatur erhitzt und wieder abgekühlt und dann das Dekrement bestimmt, so fand man kleinere Werte als bei den langsam erwärmten und abgekühlten Lösungen, oder in anderen Worten: die Schaumzellen besassen eine andere Grösse, andere Verteilung oder Fähigkeit, Schaummassen zu bilden.[1])

Jetzt werden auch die Differenzen der absoluten Werte erklärlich, die man nach den zwei gebrauchten Methoden mit colloidalen Lösungen erhält: Bei der Durchflussmethode nehmen die Schaum-Zellen und -Fäden eine einzige Richtung an, nämlich parallel der Stromrichtung der Flüssigkeit. Deshalb können sich die ausgezogenen Fäden der Schaumwände wenig oder vielleicht gar nicht an der Röhrenwand des Apparates ansetzen. Bei der Hin- und Herbewegung der schwingenden Scheibe ist der hemmende Widerstand zum grossen Teil von der Oberflächenspannung an der Grenze der colloidreichen und colloidarmen Lösung verursacht. Auch muss man berücksichtigen, dass die am Scheibenrande anhängenden, hin und her mitgeschleppten Schaummassen und Fäden sich bald senkrecht zur Scheibe,

1) Vergl. W. B. Hardy, Proc. Roy. Soc. 66, p. 96—98, 1900.

bald schief oder fast parallel zu ihr stellen können und so gewissermassen die Schichten der Flüssigkeit zusammenhalten.

Schliesslich, da bei manchen Colloiden der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand eine lange Zeit dauern kann, werden sich die Eigenschaften der Colloidlösungen fortwährend ändern und ein Gleichgewichtszustand wird nur sehr langsam erreicht werden und schwer festzustellen sein.

Ueber den Atommagnetismus des colloidalen Eisenoxydhydrates.

Der von mir angewandte Apparat zum Messen des Atommagnetismus war zum grossen Teil derselbe, welchen Professor Quincke[1]) in seinen Untersuchungen gebraucht hatte.

Die zu untersuchenden colloiden Lösungen befanden sich in dem engen vertikalen Schenkel einer U-förmigen Glasröhre, Fig. 3, deren anderer vertikaler Schenkel von 25 mm Durchmesser in 200 mm Entfernung in eine mit Kork gefütterte hölzerne Klemme geschraubt wurde, sodass das Niveau der Flüssigkeit im engen Schenkel sich ungefähr in der Mitte der vertikalen parallelen Polflächen eines Elektromagneten befand. Die beiden Spiralen desselben wurden in eine horizontale Lage gestellt und durch ein an dem einen Ankerstück mit Wachs befestigtes Messingstückchen von einander entfernt gehalten.

Das Magnetfeld wurde teilweise durch 1, 2 oder 3 hintereinander geschaltete Akkumulatoren und teilweise durch direkte Verbindung mit einer 36 gliedrigen Akkumulatorbatterie erzeugt.

Folglich fand sich die Flüssigkeit in dem engen Arm der U-förmigen Glasröhre in einem gleichartigen Magnetfelde von viel grösserer magnetischer Kraft als der ausser-

---

1) G. Quincke, Ann. d. Phys. u. Chemie XXXIV, p. 347.

halb des Magnetfeldes liegende Arm, wo die magnetische Kraft nahezu Null ist.

Bei dem Erregen des Elektromagneten stieg oder fiel die Flüssigkeitskuppe um eine Höhe h, welche mit einem Kathetometermikroskop gemessen wurde.

Nennt man

H_1 die magnetische Kraft,

σ das spezifische Gewicht der Flüssigkeit,

k die Dimagnetisierungskonstante derselben, so ist

$$h\sigma = \frac{K-1}{8\pi} H_1^2 = k H_1^2.$$

Die Grösse der magnetischen Kraft habe ich von der Messung der magnetischen Steighöhe einer $CoSO_4$-Lösung (oder in einigen Fällen Wasser) mit Hilfe der von Quincke[1]) in einer Tabelle angegebenen Werte von $k \cdot 10^{10}$ berechnet.

Bei einer Kobaltsulphatlösung vom spezifischen Gewicht 1,1046 zum Beispiel wurde eine Steighöhe von 2,408 mm beobachtet. Bei der Substitution in die Formel

$$H_1 = \sqrt{\frac{h\sigma}{k}}$$

ergaben diese eine magnetische Kraft von etwa 8750 C. G. S.-Einheiten.

Weiter sei

G der Prozentgehalt der Salzlösung an wasserfreiem Salze,

A das Aequivalentgewicht des Salzes,

σ_w das spezifische Gewicht und

h_w die magnetische Steighöhe des Wassers für dieselbe magnetische Kraft H_1,

$\mathfrak{A}$ der Atommagnetismus,

dann haben wir für den Atommagnetismus

$$\mathfrak{A} = \left(h - h_w \frac{\sigma_w}{\sigma} \cdot \frac{100-G}{100}\right) \frac{A}{G} \cdot \frac{1}{H_1^2}.$$

Um eine leichte und gleichmässige Beweglichkeit der Flüssigkeit in der engen Glasröhre zu bekommen,

1) Quincke, Ann. der Phys. und Chem. XXXIV, p. 366.

empfiehlt es sich, die Glaswände zuerst zu benetzen, indem man durch einen mit dem weiten Schenkel der U-Röhre verbundenen Kautschukschlauch bläst und so die Flüssigkeit im engen Schenkel hebt.

Tabelle XII.

Atommagnetismus des colloidalen Eisenoxydhydrates.

Abstand der Polflächen 3,5 mm.

Flüssigkeit	Spez. Gewicht σ	H_1 C. G. S.	Steighöhe h	$\mathfrak{A}_{10^8}$	$\frac{\mathfrak{A}_{Fe(OH)_3}}{\mathfrak{A}_{FeCl_3}}$
			mm		
Wasser	0,999	4373	— 0,0988		
		8758	— 0.401		
		12370	— 0.675		
Colloidales $Fe(OH)_3$	1,0485	4373	0.160	1,335	0.175
Lösung A		8758	0,679	1.389	0,178
5,456 % Fe		12370	1,179	1,438	0,188
$\frac{A}{2}$	1,0229	4307	0.0325	1,369	0,179
		8750	0.140	1.361	0,178
2,728 % Fe		12140	0,3125	1,354	0.177
$\frac{A}{4}$	1,0111	4307	0 0275	1,467	0.192
		8750	0,1163	1,400	0.183
1,364 % Fe		12140	0,275	1.408	0,184
Nach zwölf Monaten	1,0231	8200	0,088	1,744	0,228
auf —20° erkaltet		10920	0,150	1,676	0,219
2,506 % Fe					
Lösung B	1,0491	8200	0,508	1,736	0,227
5,326 % Fe		10920	0,840	1,621	0,212

Mittel = 0,194.

In Tabelle XII befinden sich die den magnetischen Kräften (H_1) entsprechenden Steighöhen (h) und die daraus berechneten Werte und des Atommagnetismus für Lösungen von verschiedenen Konzentrationen und Alter. Zwischen den letzten und den vorletzten Beobachtungen für die Flüssigkeit A habe ich sie zweimal dialysiert, mehrmals bis auf etwa 50° C. erhitzt und endlich eine Stunde lang bei —20° C. erhalten und von der ausgeschiedenen Gallerte getrennt. Die andere Lösung B wurde

in demselben Zustande untersucht, wie sie von der chemischen Fabrik von Merck erhalten war, nachdem sie sieben Monate lang unberührt gestanden hatte.

Die angegebenen Zahlen sind das Mittel aus mehreren Messungen mit dem Nordpol auf der linken oder rechten Seite des Elektromagneten.

Die verdünnteste Lösung war etwas weniger magnetisch als das Wasser diamagnetisch war.

Das erhaltene Verhältnis zwischen dem Werte des Atommagnetismus des colloidalen Eisenoxydes und dem schon von Professor Quincke für das Eisenchlorid in Wasser gefundenen (7,647) ist in der letzten Spalte enthalten. Der Mittelwert der angegebenen Resultate ist gleich 0,19. Aus der Tabelle ersieht man ferner, dass das Verhältnis mit dem Alter der Flüssigkeit zunahm, auch dass es bei schwächeren Kräften grösser war, je verdünnter die Lösung.

Einen ähnlichen Wert, d. h. 0,21, hat G. Wiedemann[1]) in seinen Messungen des Atommagnetismus mit einer ganz anderen Methode gefunden, indem er das magnetische Moment verschiedener Substanzen in einem ungleichförmigen Magnetfeld durch die Torsionskraft eines Drahtes mass.

Ueber die magnetische Doppelbrechung des colloidalen Eisenoxydhydrates.

Die magnetische Doppelbrechung von Eisenoxydhydratlösungen ist von Kerr[2]) in seinen sogenannten „Brush Grating"-Experimenten und von Majorana[3]) und Schmaus[4]) mit alten käuflichen Eisenoxydhydratlösungen (Bravaissches Eisen) beobachtet worden. Schmaus hat auch gelatinehaltige Eisenoxydhydratlösungen untersucht.

1) G. Wiedemann, Pogg. Ann. 126, 1865; 135, 1868.

2) J. Kerr, Report Brit. Assoc. 1901.

3) Qu. Majorana, Rendic Acc. dei Lincei 11, 1 sem., p. 374, 463, 531 etc., 1902.

4) A. Schmaus, Ann. d. Phys. 10, p. 658, 12, p. 186, 1903.

Aber obgleich ich etwa achtzig verschiedenartige Versuche mit dem von der Firma Merck bezogenen colloidalen Eisenoxydhydrat unter mannigfaltigen Umständen gemacht habe, d. h. nach wiederholter Dialyse, häufigem Erhitzen und Abkühlen, bei variierenden Konzentrationen, bei wechselnden Magnetfeldern in vielerlei Polarisationsröhrchen etc., habe ich nur geringe magnetische Doppelbrechung beobachten können.

Nur einmal ist es mir gelungen, irgend welche messbare Resultate zu erhalten. Diese wurden mit einem Teile der Lösung, welche einige Stunden lang auf einem Wasserbad langsam verdampft wurde, bis sie ungefähr 20 % Fe enthielt, vorgenommen. Wenn man einige Tropfen dieser Lösung zwischen zwei etwa 3 mm breite und von einander durch $^1/_{10}$ mm dicke Glasstückchen getrennte Glasstreifchen gebracht hatte und dies horizontal zwischen den Polstücken des Elektromagneten auf ein Stück Wachs gestellt wurde, so war unter Einwirkung eines starken Magnetfeldes eine merkliche Verschiebung der Interferenzstreifen der Babinet'schen Kompensatoren in dem Polarisationsmikroskop zu bemerken. Wie man aus den Resultaten in Tabelle XIII ersieht, war diese Verschiebung nur äusserst klein, da sie bei einer Feldstärke von 24300 C. G. S. Einh. höchstens 15 Teilstriche der Mikrometerschraube oder $^1/_{40}$ Wellenlänge betrug.

Tabelle XIII.

Magnetische Doppelbrechung einer etwa 20 %igen Eisenoxydhydratlösung.

Feldstärke C. G. S.	Teilstriche	Streifenverschiebung in Wellenlängen
17920	6	$\frac{1}{100}$
22680	11—12	$\frac{1}{50}$
24300	15	$\frac{1}{40}$

Nach anderthalb Stunden waren nur ungefähr halb so grosse Werte zu gewinnen. Am anderen Morgen war nicht das geringste Anzeichen zu finden. Auch konnte ich nicht einmal während der nächsten drei Monate die kleinste Spur magnetischer Doppelbrechung entweder in der klaren Flüssigkeit oder in der ausgeschiedenen Gallerte beobachten.

Befriedigendere Resultate wurden mit einer alten Lösung Bravaisschen Eisens erhalten, welche etwa 3,24 % Eisen enthielt und in horizontalen Glasröhren von 0,4 cm innerem Durchmesser und 5,5 cm Länge zwischen vertikalen 0,7 cm von einander entfernten Polflächen von 5,2 cm und 1,6 cm untersucht wurde.

Wie sich die magnetische Doppelbrechung bei verschiedenen Konzentrationen und Feldstärken verhielt, zeigen die Resultate Tabelle XIV und die Kurven Tafel VII.

Nach Majorana soll die Grösse der Doppelbrechung δ proportional dem Quadrate der Feldstärke H_1 (C. G. S. Einh.), der Schichtlänge l (cm) und der Konzentration c der Flüssigkeit (d. h. c gr Eisen in 100 ccm) sein, oder

$$\delta = k \cdot H_1^2 l c.$$

Tabelle XIV.

Magnetische Doppelbrechung einer Bravaisschen Eisenoxydhydratlösung.

Polabstand 0,7 cm; 8 Rev. $= \frac{\lambda}{4}$.

Polbreite 5,2 cm; Rohrlänge 5,5 cm.

Stromstärke	Magnetfeldstärke	Streifenverschiebung (δ) und spezifische magnetische Doppelbrechung (k)					
		0,295 % Fe $\sigma = 1{,}0041$		0,221 % Fe $\sigma = 1{,}0032$		0,147 % Fe $\sigma = 1{,}0022$	
Amp.	C.G.S.Einh.	δ rev.	k_{10^8}	δ rev.	k_{10^8}	δ rev.	k_{10^8}
2,3	2370	6,16	0,85	4,40	0,81	2,90	0,80
2,8	2890	9,06	0,84	6,45	0,80	4,31	0,80
3,2	3270	11,96	0 86	8,75	0,84	5,80	0,84
3,7	3780	16,22	0,88	11,88	0,86	7,68	0,83
4,4	4460	23,13	0,89	17,10	0,88	11,20	0,87
5,4	5340					16,32	0,89
7,0	6450					25,20 (?)	0,93
	Mittel		0,86		0,84		0,83

Diese Konstante k habe ich aus den in Tabelle XIV mitgeteilten Daten berechnet und mit den in Revolutionen der Kompensatortrommel angegebenen Streifenverschiebungen in derselben Tabelle zusammengestellt. Augenscheinlich nahm sie etwas mit der Feldstärke und auch mit der Konzentration zu. Es sollte aber eigentlich eine kleine Korrektion für denjenigen Teil der Röhre berücksichtigt werden, der nicht gänzlich innerhalb der Polflächen lag und deshalb nicht direkt der Wirkung der senkrecht zu den Polflächen laufenden Kraftlinien unterworfen wurde. Man kann sich denken, dass diese Korrektion bei grösseren Feldstärken und Konzentrationen bedeutender sein würde als bei kleineren Feldstärken.

Tabelle XV.

Magnetische Doppelbrechung derselben Bravaisschen Lösung nach 10 Tagen.

Polabstand 0,7 cm; 8 Rev. $= \frac{\lambda}{4}$.

Polbreite 5,2 cm; Rohrlänge 5,0 cm.

Stromstärke	Magnetfeldstärke	Streifenverschiebung (δ) und spezifische magnetische Doppelbrechung (k)					
		0,295 % Fe $\sigma = 1{,}0041$		0,221 % Fe $\sigma = 1{,}0032$		0,147 % Fe $\sigma = 1{,}0022$	
Amp.	C. G. S. Einh.	δ rev.	$k \cdot 10^8$	δ rev.	$k \cdot 10^8$	δ rev.	$k \cdot 10^8$
2,4	2480	5,50	0,759	4 08	0.753	2,68	0,744
2,9	2990	8,00	0,760	5.90	0,748	3,90	0,743
3,4	3530	11,28	0.765	8,30	0,752	5,50	0.749
4,1	4150	15,46	0,759	11,58	0,759	7,58	0,747
4,7	4880	21,28	0,758	15,90	0,756	10,50	0,750
5,7	5770			22,20	0,754	14,80	0,755
	Mittel		0,760		0,754		0,748

Deswegen wiederholte ich diese Versuche mit derselben Lösung, aber in Polarisationsröhrchen von nur 5,0 cm und erlangte damit geringere Abweichungen in den Werten für k (vgl. Tabelle XV).

Es ist interessant, zu bemerken, dass die Konstanten bei diesen Messungen, die zehn Tage nach denen in Tabelle XIV vorgenommen wurden, ungefähr 12 % kleiner sind als die ersteren, d. h., die doppelbrechende Eigenschaft des Eisenoxydhydrates nimmt mit der Zeit ab.

Um zu prüfen, ob die Gestalt des Polarisationstroges einen Einfluss auf die Grösse der Doppelbrechung ausübt, untersuchte ich ähnliche Lösungen in einem cylindrischen Glastrog von 0,5 cm Durchmesser und einem Nickeltrog von 0,7 cm Breite sofort nach dem Einfüllen, fand aber für beide dieselbe Verschiebung des Kompensatorstreifens.

In dem Metalltrog schied sich das Eisenoxydhydrat langsam innerhalb 24 Stunden als brauner Niederschlag aus; bei einer sehr verdünnten Lösung ($\sigma = 1{,}0014$) im Glastrog binnen drei Tagen.

Diese Resultate stehen jedoch in Uebereinstimmung mit denen von Majorana und Schmaus, die angeben, dass frisch bereitete Eisenoxydhydratlösungen keine magnetische Doppelbrechung zeigen, wohl aber altes Eisenoxydhydrat, und dies nicht immer gleich stark. Auch verlieren nach Majorana die aktiven Lösungen schnell ihre magnetische Doppelbrechung.

Die von Schmaus vorgeschlagene Annahme eines Suspensionscharakters ist eigentlich nur dieselbe Erklärung, die Professor Quincke für seine Untersuchungen über die Doppelbrechung von bewegten Lösungen von Eisenoxydhydrat gegeben hat.[1])

„Ich sehe den Grund dieser merkwürdigen vorübergehenden Doppelbrechung in unsichtbaren flüssigen Schaumwänden, die sich an der Grenzfläche der $Fe(OH)_3$-Lösung festgesetzt haben, bei schneller Bewegung der Flüssigkeit gezerrt werden und durch ihre Spannung eine Dilatation oder Kompression und damit Doppelbrechung erzeugen."

Merkwürdigerweise zeigten sich im Verlaufe der in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen keine Spuren

1) G. Quincke, Ann. d. Phys. 9, 977, 1902.

der Doppelbrechung an irgend einer Eisenoxydhydratlösung, die sich damals im physikalischen Institute befand — eine Eigentümlichkeit, die der besonderen inneren Beschaffenheit der Colloidlösung zugeschrieben werden muss.

Am Schlusse vorliegender Arbeit fühle ich mich verpflichtet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Rat Professor Quincke, meinen herzlichsten und wärmsten Dank für die bei Ausführung dieser Arbeit jederzeit bereitwilligst gewährte Unterstützung und Unterweisung auszusprechen.

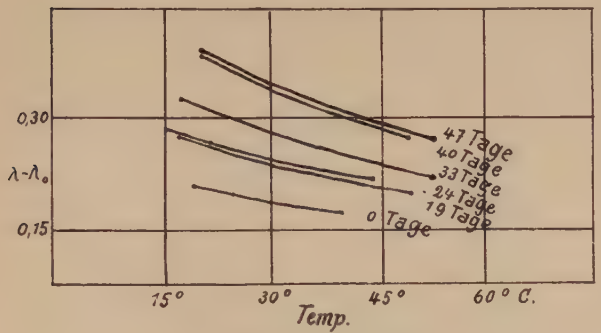
Lebenslauf.

Ich, Arthur Du Pré Denning, protestantischer Konfession, wurde am 1. August 1879 zu Donnington, Lincolnshire, England, geboren als Sohn des Schuldirektors Arthur Du Pré Denning und bin englischer Staatsangehöriger, empfing meine Schulbildung an einer Privatschule und der Grammar School zu Rugeley, Staffordshire, studierte Physik, Chemie und Mathematik von Wintersemester 1896/97 bis Sommersemester 1902 an der Technischen Schule zu Stafford und den Universitäten London und Birmingham und hörte mathematische und naturwissenschaftliche Vorlesungen bei den Herren Professoren und Dozenten Poynting, Sir O. Lodge, Frankland, Heath, Baker, Farmer, Slator, Price, Austin, Allan, Gannon, Innes.

Nachdem ich das Examen als B.Sc. (Bachelor of Science) mit Honours in Chemie und Physik in London, sowie in Birmingham bestanden hatte (1901), führte ich im Laboratorium des Herrn Professor P. F. Frankland eine physikalisch-chemische Untersuchung über die Zusammensetzung Caro'scher Säure und den katalytischen Einfluss des Bredig'schen colloidalen Platins auf Wasserstoffsuperoxyd bei Zusatz Caro'scher Säure bezw. Ueberschwefelsäure unter Herrn Dr. phil. T. S. Price (Leipzig) aus, welche teilweise in dem Journ. Chem. Soc. 85, p. 545, 1903 und teilweise im Jubelband der Zeitschr. f. phys. Chem. XLVI 89, 1903 veröffentlicht ist. Diese Arbeit wurde als Dissertation zur Erlangung der Würde eines Master of Science, M.Sc., der Universität Birmingham eingereicht und im Juni 1903 angenommen.

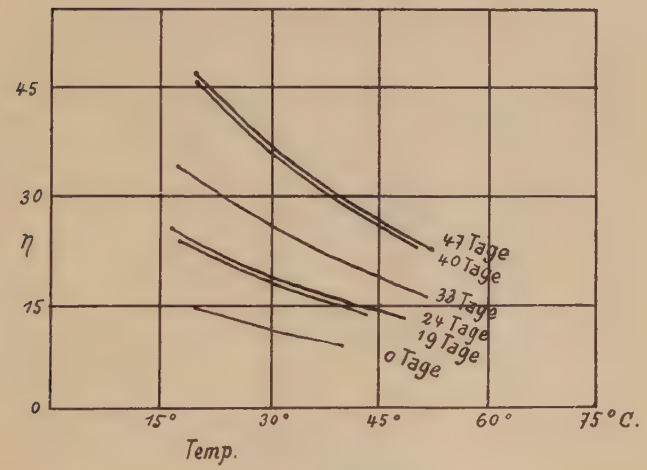
Im Wintersemester 1902 kam ich nach Heidelberg, um weiteren naturwissenschaftlichen Studien unter Leitung des Herrn Geh. Rat Professor Quincke obzuliegen. Hier hörte ich die Vorlesungen und Uebungen der Herren Professoren und Dozenten Quincke, Cantor und Weber. Daneben bin ich seit anderthalb Jahren als Lehrer der Chemie und Physik am Heidelberg College tätig gewesen.

Kurven für $\lambda - \lambda_o$ (ber.) bei verschiedenen Temperaturen mit der Transpirationsmethode.



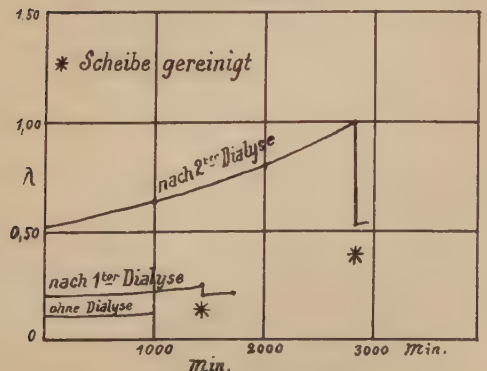
Kurventafel I.

Kurven für n bei verschiedenen Temperaturen mit der Transpirationsmethode.



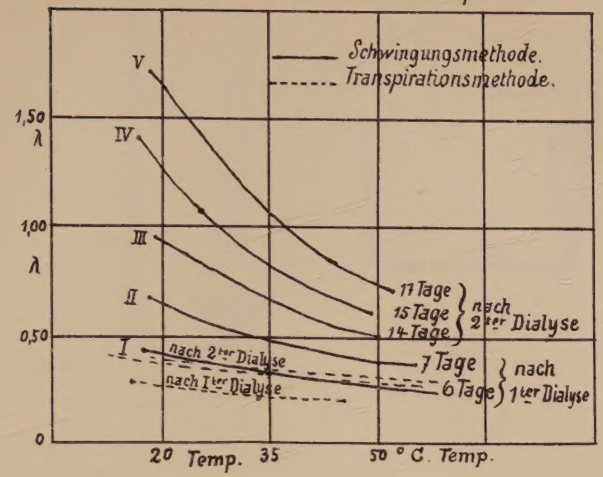
Kurventafel II.

Kurven um die zeitliche Aenderung der λ nach Dialyse zu zeigen sowie das Abwaschen der Glasscheibe.



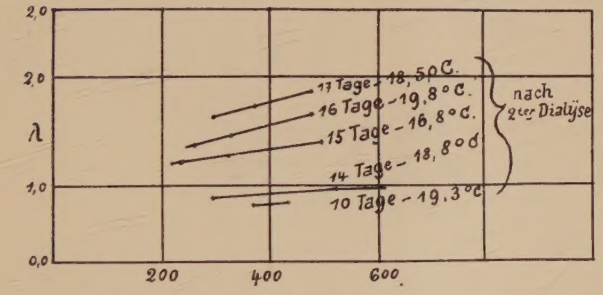
Kurventafel III.

Kurven für λ bei verschiedenen Temperaturen.



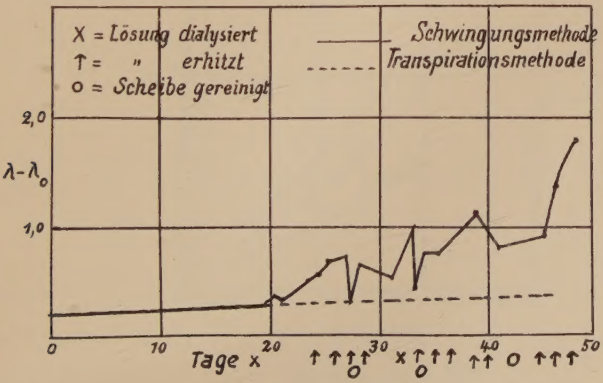
Kurventafel IV.

λ bei verschiedener Amplitudengrösse.



Kurventafel V.

Kurven für $\lambda - \lambda_0$ und die Tage aus der Uebersichtstabelle XI.



Kurventafel VI.

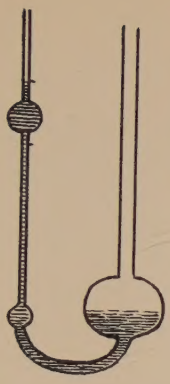


Fig. 2.

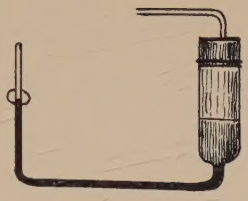


Fig. 3.

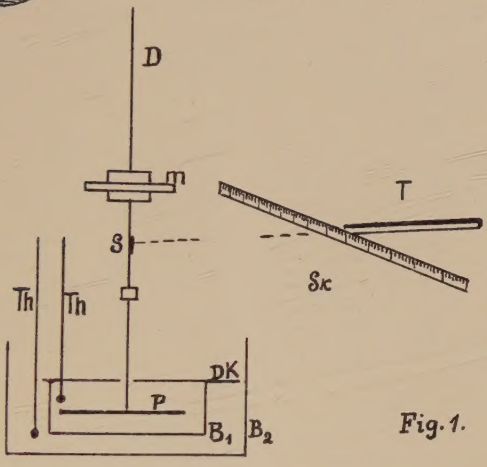
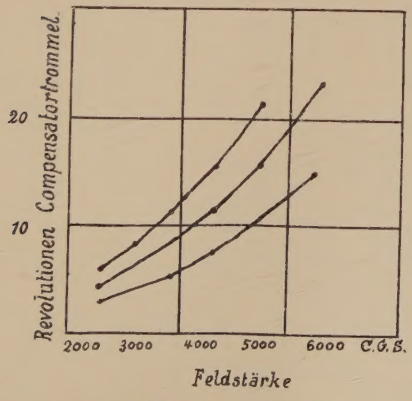


Fig. 1.

Magnetische Doppelbrechung bei verschiedenen Concentrationen und Feldstärken (s Tab. XV.)



Kurventafel VII.